



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Lauri Lahtvee**

**STRUKTUURIANALÜÜS ERINEVA LOODUSLIKKUSE  
TASEMEGA PUISTUTES**

**AN ANALYSIS OF SPATIAL FOREST STRUCTURE ON  
DIFFERENT LEVEL OF NATURALNESS**

Bakalaureusetöö

Loodusvarade kasutamise ja kaitse õppekava

Juhendajad dotsent Diana Laarmann, *PhD*  
spetsialist Ando Lilleleht, *MSc*

Tartu 2017



Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Lauri Lahtvee		Õppekava: Loodusvarade kasutamine ja kaitse	
Pealkiri: Struktuurianalüüs erineva looduslikkuse tasemega puistutes			
Lehekülgi: 37	Jooniseid: 15	Tabeleid: 10	Lisasid: 1
Osakond:		Metsakorralduse osakond	
Uurimisvaldkond:		Puistu struktuur	
Juhendaja(d):		Diana Laarmann, Ando Lilleleht	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu 2017	
<p>Majandusmetsade ja loodusmetsade erinevus tuleneb peamiselt inimtegevusest metsas. Majandusmetsades on selgelt näha inimtegevuse märgid, mis mõjutavad puistu struktuuri ja arengut. Loodusmetsades võib näha varasemate metsatööde jälgi, aga see enam puistu arengut ja struktuuri ei mõjuta. Töö eesmärgiks on analüüsida puistu ruumilisi struktuuriindekseid erineva looduslikkuse tasemega puistutes ning erinevates kasvukohatüüpides puistu püsiproovitükkidel. Käesolev uurimustöö põhineb Eesti metsa kasvukäigu proovitükkide (KKPRT) ja Natura 2000 elupaigatüübi 9010*(EMKAV) andmetel. Kokku uuriti töös nelja erinevat struktuuriindeksit 239 püsiproovitükil. Dispersioonianalüüsi käigus selgus, et KKPRT ja EMKAV alade vahel esinesid suurimad erinevused puude ruumilise paiknemise suremisindeksi (EMKAV=0,33 ja KKPRT=0,16) ja liikide segunemisindeksi puhul (EMKAV=0,39 ja KKPRT=0,20). Uurimustöö näitab, et struktuuriindeksid võivad majandusmetsade ja loodusmetsade vahel erineda üsnagi suuresti, aga samas leidub ka sarnasusi. Antud tööd saab kasutada, uurimaks püsiproovitükkide muutusi aastate pärast nii alade siseselt kui ka omavaheliselt. Tööd on võimalik edasi arendada, jätkates uuringuid majandus- ja loodusmetsade vahel, selgitamaks välja efektiivsem moodus toota tarbepuitu, kuid samas arendada uusi viise bioloogilise mitmekesisuse suurendamiseks ja säilitamiseks loodusmetsades. Uurimusprojekti saab koostada uurides proovitükke, millel on suurem puistu tagavara ning analüüsides antud proovitükkide eripära ja kuidas saaks inimene kaasa aidata, et luua suurema tootlikkusega puistu. Samuti saaks uurida edasi kõrgema looduskaitse hinnanguga metsasid ning kuidas nende tekkeprotsessidele kaasa aidata.</p>			
Märksõnad: liigiline segunemine, diameetrite domineerivus, puude paiknemine, puistu proovitükid			



Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		<b>Abstract of Bachelor's Thesis</b>	
Author: Lauri Lahtvee		Specialty: Natural Resources Management	
Title: An analysis of spatial forest structure of different level of naturalness			
Pages: 37	Figures: 15	Tables: 10	Appendixes: 1
Department:		Forest Management	
Field of research:		Stand structure	
Supervisors:		Diana Laarmann, Ando Lilleleht	
Place and date:		Tartu 2017	
<p>The main differences between managing and natural forests is the rating of human activity in the forest. Clearly visible human activity that affects structure and development of the forest is a managing forest. In a forest where you can still barely see human impact, but it does not affect forest's structure and development is a natural forest. The purpose of this research is to analyse different structural indices between forest site types and naturalness level, which has not been done yet on such a large amount of data. Research is based on data collected from KKPRT and Natura 2000 habitat type 9010* (EMKAV). Many differences occurred between KKPRT and EMKAV plots and also between forest types and naturalness levels, after doing analysis of variance. The biggest differences between KKPRT and EMKAV occurred in deadwood mingling index (EMKAV=0,33) and KKPRT=0,16) and mingling index (EMKAV=0,39 and KKPRT=0,20) during analysis of variance. According to research the results of indices can differ a lot between managing and natural forests, however there are also similarities. Research can be used to examine the differences between the plots, internally and externally further in the coming years. Research can be continued to examine the differences to find an effective method to produce more timber or find a way to maintain and expand biodiversity in natural forests. A project can be created to inspect the plots which has bigger wood supply and how can humans help to make a more productive forest. Also natural forests can be examined to find out how forests can get faster to higher naturalness level.</p>			
Keywords: Species mingling, diameter dominance, contagion, forest sample plots			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	4
1. MATERJAL JA METOODIKA.....	6
1.1. Proovitükkide kirjeldus .....	6
1.2. Proovitükkide mõõtmismetoodika .....	8
1.3. Struktuuriindeksid .....	11
1.3.1. Puude paiknemisindeks .....	11
1.3.2. Liikide segunemisindeks .....	11
1.3.3. Diameetri diferentseerumisindeks .....	12
1.3.4. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks .....	14
1.4. Andmete analüüs.....	15
2. TULEMUSED .....	16
2.1. Puude paiknemisindeks .....	16
2.2. Liikide segunemisindeks .....	18
2.3. Diameetri diferentseerumisindeks .....	21
2.4. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks .....	24
3. ARUTELU .....	28
KOKKUVÕTE .....	31
Summary.....	32
KASUTATUD KIRJANDUS .....	33
LISAD .....	35
Lisa 1. Loodusväärtuste hindamise blankett.....	36

## SISSEJUHATUS

Majandusmetsade ja looduslike metsade struktuur erineb peamiselt inimtegevuse ulatusest metsas. Majandatavate metsade puistud ei kujune tõenäoliselt vähem kui ühe metsapõlvkonna jooksul looduslikeks metsadeks. Looduslike metsade puistud on loodusliku tekkega, kus võib olla varasemaid inimtegevuse jälgi, kuid see ei mõjuta enam puistu struktuuri ega arengut.

Metsad ei ole üksnes puidu tootmiseks, vaid neil on palju erinevaid ülesandeid, sh sotsiaalne, ökoloogiline ja kultuuriline, need funktsioonid on kõik täidetud, kuid igas metsas on need ülesanded erineva kaaluga (Uri 2017). Loodusmetsade säilimiseks on oluline ajaline järjepidevus ja ruumiline sidusus (Palo jt 2007). Kuigi EL loodusdirektiivis pole metsa järjepidevust rõhutatud, on see siiski kaudselt eelduseks loodusdirektiivi metaelupaikade looduskaitseväärtuste hindamisel, sest määravaiks kriteeriumiteks on tunnused nagu eelmistest põlvkondadest jäänud elusad ja surnud puud (Paal 2004). Vanad loodusmetsad on väga lai elupaigatüüp, millesse tuleks Eestis arvata mitmete kasvukohatüüpide metsad, mida inimtegevus võib olla kunagi mõjutanud, aga vastab siiski loodusmetsa kriteeriumitele (Viilma ja Palo 2009). Loodusmetsade kriteeriumiteks on mitmeliigiline ja -vanuseline puistu, suhteliselt ühevanuselise puistu puhul peaks I rinde okaspuude vanus ületama 100 ja lehtpuudel 80 aastat. Raiejälgi ei ole näha, või siis on tegemist üksikpuude valikraiega, mis ei mõjuta liigilist koosseisu (Viilma ja Palo 2009). Lamapuid ja surnult seisvaid puid on üle 5% kasvavate puude arvust, erineva vanusega puud moodustavad grupe ja puistus esineb häile. Metsas leidub tugevasti kõdunenud lamapuitu, mis on kaetud sammalde või muu alustaimestikuga, ning metsa veerežiim on rikkumata, kus puuduvad kuivenduskraavid ja naabrusmõju servaaladelt ja sihtidelt (Viilma ja Palo 2009).

Majandusmetsad on peamiselt kvaliteetse puidu kasvatamiseks, aga pakuvad ka elupaika mitmesugustele elundkondadele, seal saab puhata ning korjata ka seeni ja marju. Samuti täidavad majandusmetsad ka keskkonda kaitsvat funktsiooni, näiteks müra tõkestamine, erosiooni tekitamine jne (Uri 2017). Metsade majandamise käigus looduslike metsade iseloomuliku heterogeensuse (hailude, puistu vanuseline struktuuri, suletud võrastiku jm) säilitamine on keeruline ülesanne (Kohm ja Franklin 1997). Erinevatel metsadel on erinevad funktsioonid, ka looduslikud metsad toodavad puitu, aga see on nendes metsades

teisejärguline, samamoodi nagu võib olla majandusmetsade puhul looduslikkuse säilitamine. Majandusmetsade liigirikkuse vaesumine tuleneb metsade struktuuri ja kasvukohatüübile omase puurinde liigilise koosseisu vaesumisest, samuti puuduvad suure tüveläbimõõduga ja omamoodi võraga elus- ja surnud puud, mis pakuvad sobivaid elupaiku mitmetele ohustatud liikidele (Timm 2011).

Metsa struktuur ja mitmekesisus võivad olla määratletud puude ruumilisest paigutusest, segunemise mustritest eri puuliikide vahel. Antud parameetritega saab teha ulatusliku kirjelduse puistu ruumilisest struktuurist.

Metsade kirjeldamisel leiavad puistu traditsiooniliste takseertunnuste kõrval üha rohkem kasutamist mitmed puistu struktuuri ja puude ruumilise paiknemise mustrit iseloomustavad struktuuriindeksid ja karakteristikud (Maleki ja Kiviste 2009). Struktuuriindekseid on mitmeid, kuid käesolevas töös analüüsitakse nelja indeksit - puude paiknemise- (Hui ja Gadow 2002), liikide segunemise- (Füldner 1995; Aguirre jt 2003), diameetri diferentseerumise- (Füldner 1995; Pommerening 2002) ja surnud puude ruumilise paiknemise indeksit (Laarmann jt 2009), sest antud indeksid võiksid kirjeldada majandus- ja looduslike metsade struktuuri. Siiani puuduvad varasemad tööd Eesti kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku andmetel, kus oleks võrreldud erineva loodusväärtusega metsade struktuurilist erinevust (lisa 1).

Käesolev töö põhineb erineva looduslikkuse tasemega puistute andmeil alates majandatud metsadest kuni kõrge loodusväärtusega puistuteni. Töös on kasutatud Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku andmeid ning Natura 2000 elupaigatüüpi (9010\*) kuuluvate vanade loodusmetsade inventeerimisandmeid.

Töö eesmärgiks on analüüsida puistu looduslikkuse tasemete ja kasvukohatüüpide ning ruumiliste struktuuriindeksite vahelisi seoseid puistu püsiproovitükkidel.

Püsiproovitükkide võrgustik sh vanade loodusmetsade püsiproovitükid on rajatud SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse abil. Töö autor tänab proovitükkide mõõtjaid, lisaks Teele Paluotsa, kelle eestvedamisel rajati vandesse loodusmetsadesse püsiproovitükid ning Henn Korjust, kes oli projekti vastutav täitja.

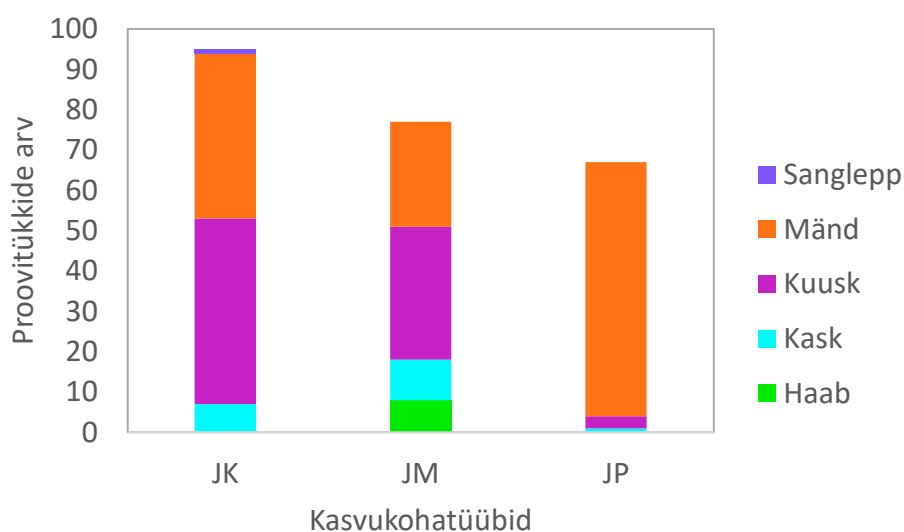
# 1. MATERJAL JA METOODIKA

## 1.1. Proovitükkide kirjeldus

Käesolev uurimistöö põhineb Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide (KKPRT) andmetel ja Natura 2000 elupaigatüübi 9010\* vanad loodusmetsad (EMKAV) andmetel.

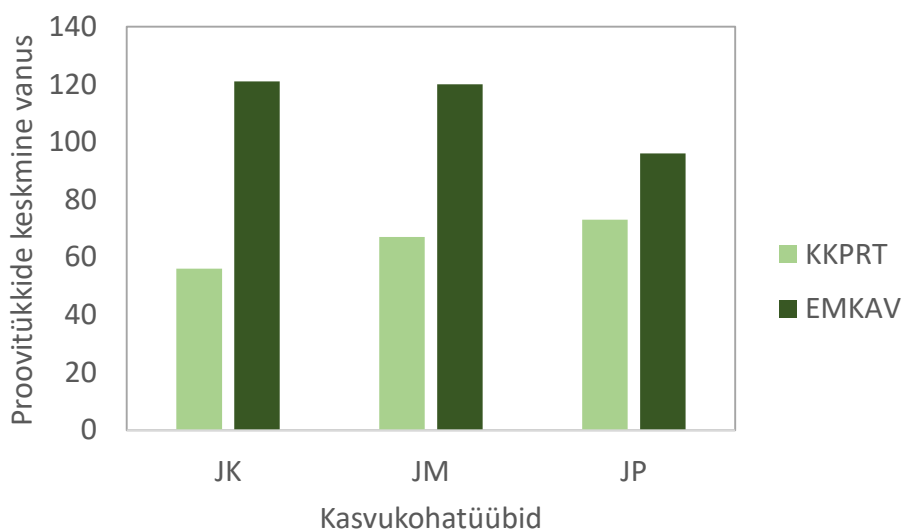
EMKAV 100 proovitükki rajati 2015. ja 2016.a. (Korjus jt 2016). Proovitükkide rajamisest ja mõõtmisest võttis osa ka töö autor. Välitööd teostati seitsmel kaitsealal (Ihamaru, Soontaga, Elva-Vitipalu, Välgi, Padakõrve, Agusalu, Muraka), kuhu rajati kümme seireala piirangu- ja sihtkaitsevööndi metsadesse Ida-Viru-, Tartu-, Valga- ja Põlvamaal. Igale seirealale rajati 10 püsiproovitükki, millel teostati puistuinventuur ja hinnati puistu looduslikkust. Proovitükid asuvad kolmes erinevas kasvukohatüübis – jänsekapsa (JK), jänsekapsa-mustika (JM) ja jänsekapsa-pohla (JP). KKPRT võrgustikust valiti välja eelpool nimetatud kolmes kasvukohatüübis asuvad 139 proovitükki, et võrrelda puistu struktuuriindekseid majandusmetsades ning looduskaitse all olevates metsades. Töös kasutatakse KKPRT puistu andmed pärinevad aastatest 2006-2010, sest sellel ajavahemikul viidi läbi ka igal proovitükil puistu looduslikkuse hindamine. Olemas on ka nende proovitükkide hilisemad mõõtmisandmed, aastatest 2011-2016, kuid neid käesolevas töös ei kasutatud.

Rohkem kui pooltel proovitükkidel oli peapuuliigiks harilik mänd (*Pinus sylvestris*), seejärel harilik kuusk (*Picea abies*), vähem leidis kase (*Betula* sp), haava (*Populus tremula*) ja sanglepa (*Alnus glutinosa*) enamusega proovitükke (joonis 1).



**Joonis 1.** Proovitükkide jagunemine peapuuliigi ja kasvukohatüübi (JK-jänesekapsa, JM-jänesekapsa-mustika, JP-jänesekapsa-pohla) järgi

Uuritavate puistute vanus jäi vahemikku 26-178 aastat, keskmine vanus oli 85 aastat. EMKAV alade noorimad puistud (alates 70 a) kasvavad JM ja JP kasvukohatüübis, vanim puistu, 178-aastane, kasvab JM kasvukohatüübis. KKPRT proovitükkide puistud jäävad vahemikku 23-121 aastat (joonis 2).



**Joonis 2.** Proovitükkide keskmine vanus alade ja kasvukohatüübi (JK-jänesekapsa, JM-jänesekapsa-mustika, JP-jänesekapsa-pohla) järgi

Vanade loodusmetsade ja majandusmetsade puistute takseernäitajad on esitatud tabelis 1. Loodusmetsade keskmine kõrgus jäi vahemikku 29,9-32,5 meetrit, samal ajal kui majandusmetsade kõrguse vahemik oli 22,8-26,5 meetrit. Keskmine diameeter EMKAV aladel oli igas kasvukohatüübis suurem kui KKPRT aladel. Majandusmetsades oli keskmiseks rinnaspindalaks 29,6 m<sup>2</sup>/ha ning see ei erine kasvukohatüüpide vahel, samas kui loodusmetsades oli keskmine rinnaspindala 31,3 m<sup>2</sup>/ha ning see varieerub kasvukohatüüpide vahel. Puude arv nii esimeses kui ka teises rindes oli majandusmetsades suurem kui vanades loodusmetsades, suuremad erinevused esinesid esimeses rindes, teises rindes tulid esile väiksemad erinevused. Puistu tagavara on loodusmetsades suurem kui majandusmetsades, jäädes vahemikku 408-479 m<sup>3</sup>/ha, majandusmetsades jäi puistu tagavara vahemikku 333-359 m<sup>3</sup>/ha.



**Tabel 1.** Uurimuses kasutatud proovitükkide puistute takseernäitajad alade (EMKAV-vanad loodusmetsad, KKPRT-majandusmetsad) ja kasvukohatüüpide (JK-jänese kapsa, JM-jänese kapsa-mustika, JP-jänese kapsa-pohla) järgi

	Kõrgus (m)	Diameeter (cm)	Rinnaspindala (m <sup>2</sup> /ha)	1.rinde puude arv (tk/ha)	2.rinde puude arv (tk/ha)	Puistu tagavara (m <sup>3</sup> /ha)
<u>EMKAV</u>						
JK	32,5	41,1	33,3	284	187	479
JM	29,9	35,8	29,3	316	197	408
JP	31	36,7	31,3	308	264	432
<u>KKPRT</u>						
JK	22,8	22,8	29,8	931	254	333
JM	24,2	24,0	29,4	796	260	337
JP	26,5	26,4	29,5	579	272	359

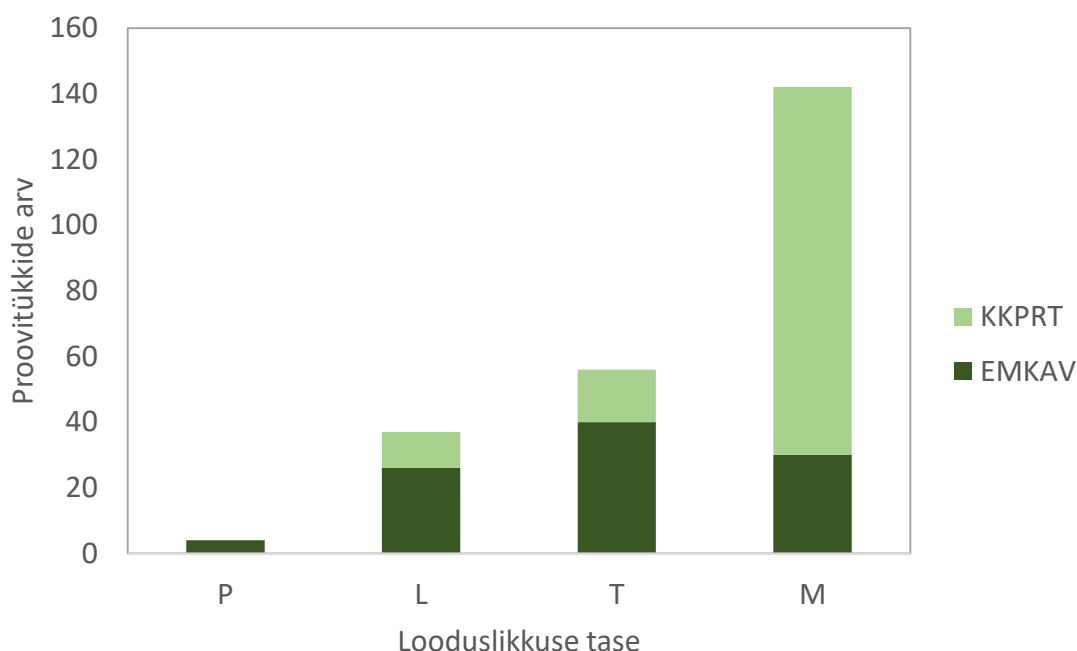
## 1.2. Proovitükkide mõõtmismetoodika

EMKAV püsiproovitükid rajati KKPRT püsiproovitükkide juhendi järgi (Korjus jt 2016). EMKAV alade eelvaliku teostas nooremteadur Teele Paluots. Kõik proovitükid on ringikujulised ning raadius varieerub 15-25 meetri vahel sõltuvalt puistu tihedusest. Igal proovitükil mõõdeti kõikide puude, mille diameeter oli üle 4 cm, kaugus proovitüki keskpunktist ning asimuut.

Iga puu jaoks mõõdeti või hinnati järgmisi tunnuseid: rinne, puuliik, diameeter, rikked, märkused. Mudelpuudeks, millel mõõdetakse lisaks ka kõrgus, valiti iga viies puu ja märgistati kahe sinise täpiga rinnasdiameetri mõõtmise kõrguselt, et need oleks kordusmõõtmistel lihtsamini eristatavad. EMKAV alal mõõdeti ka iga surnud puu ja tüüka kõrgus ning lagunemisaste.

Kõigil proovitükkidel on läbi viidud looduslikkuse hindamine (Lisa 1), mis põhineb Eesti metsakaitsealade võrgustiku projekti käigus välja töötatud metoodikal (Viilma jt 2001). Looduslikkuse hindamisel hinnati proovitükkide loodusväärtusi, kultuurilis-bioloogilisi väärtusi ning negatiivseid inim mõjusid. Kokku saadud punktiskoori alusel on proovitükid jaotatud nelja rühma: põlismetsad (P), looduslikud metsad (L), taastuvad metsad (T) ja majandatavad metsad (M):

- a) **põlismetsaks** nimetatakse puistut, mille seisund on looduslik, esineb kasvukohatüübile omane looduslik koosseis ja vanuseline struktuur, milles puuduvad nii kaudsed kui ka otsesed inimtegevuse jäljed. Eesti tuntumaks põlismetsaks on Järvelja Õppe- ja katsemetskonda rajatud kaitseala, mis hõlmab ligikaudu 185 hektarit ja kus on keelatud igasugune inimese sekkumine metsaelu loomulikku käiku (Krigul 1971). Põlismetsalaadseid proovitükke (4 tk) esines vaid EMKAV alal (joonis 3).
- b) **looduslik mets on** looduslikku tekkega, erivanuseline ja kasvukohatüübile omase koosseisuga, milles võib olla varasemate raiete ja muu inimtegevuse jälgi, aga see ei mõjuta enam vahetult puistu struktuuri ja arengut. EMKAV proovialadel oli neid 26 ja KKPRT oli neid 11.
- c) **taastuv mets** on puistu, mis võib olla nii inimtekkeline kui ka inimtegevusest otseselt mõjutatud. Kui mets on juba sellises seisundis kus inim mõju on vähe tunda, et mõnekümne aasta jooksul kujuneb sellest metsast välja looduslik mets, juhul kui inimene enam metsa arengusse ei sekku.
- d) **majandatav mets** on puistu, mis ei vasta taastuva, loodusliku või põlismetsa tunnustele, seega isegi puutumatus olekus ei kujune need kiiremini kui ühe metsapõlvkonna jooksul looduslikuks metsaks.



**Joonis 3.** Proovitükkide jagunemine alade ning looduslikkuse tasemete järgi (P-põlismets, L-looduslik mets, T-taastuv mets, M-majandatav mets)

Kõige rohkem proovitükke KKPRT alal, mis kuulusid loodusliku metsa kategooriasse oli jänese kapsa kasvukohatüübid, vaid üks proovitükk jäi jänese kapsa-mustika kasvukohatüüpi, seevastu EMKAV aladel jäi 11 proovitükki samasse kasvukohatüüpi. Majandatava metsa kategoorias jänese kapsa kasvukohatüüpi kuulusid peaaegu pooled KKPRT proovitükid, seevastu EMKAV aladel jäid pooled proovitükid jänese kapsa-mustika kasvukohatüüpi (tabel 2).

**Tabel 2.** Uurimuses kasutatud püsiproovitükkide jagunemine puistu looduslikkuse taseme (EMKAV-vanad loodusemetsad, KKPRT-majandusmetsad) ja kasvukohatüüpide järgi (JK-jänese kapsa, JM-jänese kapsa-mustika, JP-jänese kapsa-pohla)

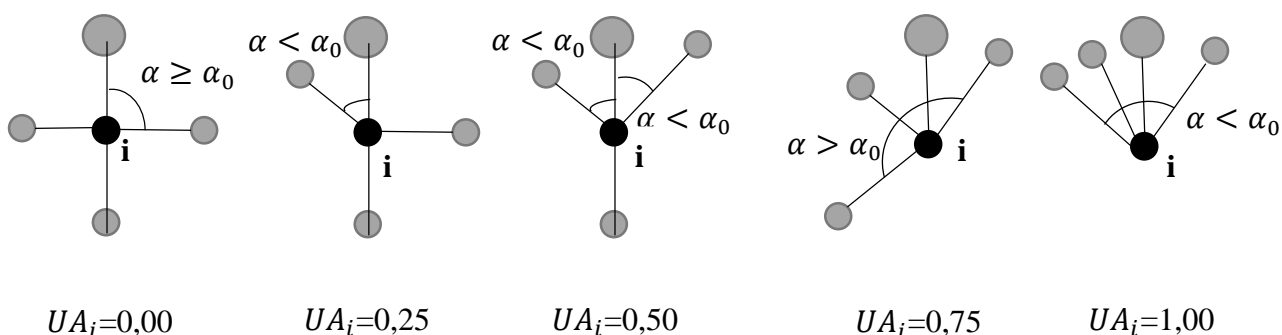
	JK	JM	JP
<u>KKPRT</u>			
L	6	1	4
T	8	4	4
M	52	26	34
<u>EMKAV</u>			
P	1	2	1
L	8	11	7
T	10	18	12
M	9	15	6

## 1.3. Struktuuriindeksid

### 1.3.1. Puude paiknemisindeks

Puude paiknemisindeks UAI (Uniform angle index) kirjeldab puude ruumilise paiknemise korrapärasust puistus. Indeks lähtub vaatlusaluse puu ja tema lähimate naabrite asukohtade andmetest. Arvutuskäigus leitakse naaberpuudevahelised nurgad  $\alpha$ , mida võrreldakse standardnurgaga  $\alpha_0$  ning lõpptulemus saadakse kui arvutakse standardnurgast väiksemate nurkade osakaal (valem 1). Varasemate uurimuste põhjal on selgunud, et kõige otstarbekam on arvutuskäigus kasutada nelja lähimat naaberpuud (Aguirre jt 2003). Eelmainitud juhul saab puude paiknemisindeks omistada viit erinevat arvulist väärtust (joonis 4). Kui  $UAI=0$ , siis vaadeldava puu naabruses olevad puud paiknevad korrapäraselt (näiteks ruutseadus), kui indeksi väärtus läheneb ühele, on paigutus ebakorrapärane või kasvavad puud grupiti koos (Aguirre jt 2003).

$$UAI_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j \text{ kus } v_j = \begin{cases} 1, & \text{kui } \alpha_j < \alpha_0 \\ 0, & \text{teistel juhtudel} \end{cases} \text{ ja } 0 \leq UAI_i \leq 1 \quad (1)$$



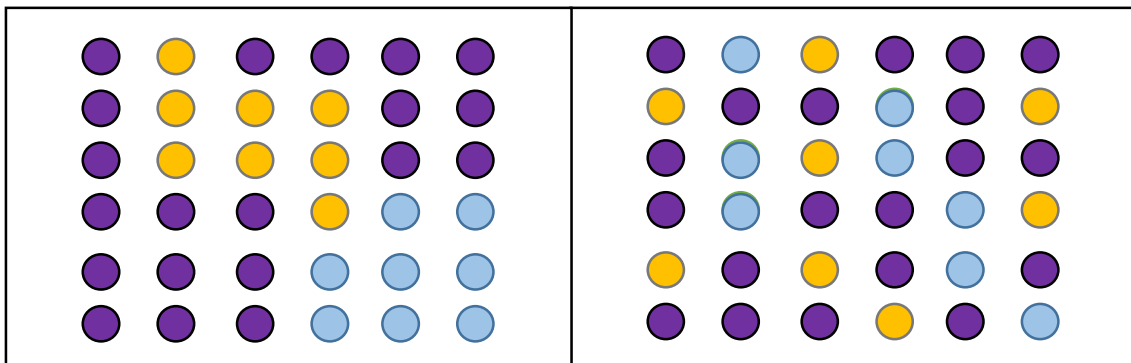
**Joonis 4.** Puude paiknemisindeksi viis võimalikku väärtust nelja naaberpuu korral. Joonisel vasakult paremale: väga korrapärane, korrapärane, juhuslik, ebakorrapärane ja väga ebakorrapärane naaberpuude paiknemine

### 1.3.2. Liikide segunemisindeks

Liigiline mitmekesisus omab metsade majandamisel ja selle kavandamisel olulist rolli. Liikide segunemisindeks MNG (Species mingling index) kirjeldab, kuidas puistus esinevad puuliigid puistusiseselt paiknevad (joonis 5). Üksikpuu tasemel vaadelduna sõltub indeksi väärtus sellest, kas naaberpuud on samast liigist (väärtus sel juhul 0) või naaberpuud on teisest liigist (väärtus 1) (Gadow ja Hui 2014).

Nelja naabri puhul on võimalik saada maksimaalselt viis erinevat indeksi väärtust.  $MNG=0$  tähendab, et kõik 4 naaberpuud on samast liigist kui vaatlusalune puu, mis tähendab, et liikide segunemist ei toimu.  $MNG=0,25$  korral on kolm naaberpuud neljast samast liigist kui vaadeldav puu, sellisel juhul toimub nõrk liikide segunemine. Kui  $MNG=0,5$ , on neljast naabrist kaks sama liiki kui vaatlusalune puu ehk toimub mõõdukas segunemine.  $MNG=0,75$  tähendab, et üks puu neljast on samast liigist kui vaadeldav puu, teisisõnu toimub suur segunemine. Juhul kui kõik neli naaberpuud on vaatlusalusest puust erinevat liiki, toimub väga suur liikide segunemine ning  $MNG=1$ . Valemis 2 tähistab  $MNG$  liikide segunemisindeksit,  $n$  on naaberpuude arv,  $i$  on vaadeldava puu liik ning  $j$  on naaberpuu liik (2).

$$MNG = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n=4} m_j \text{ kus } m_j = \begin{cases} 1 & \text{kui } \text{puuliik}_j \neq \text{puuliik}_i \\ 0 & \text{kui } \text{puuliik}_j = \text{puuliik}_i \end{cases} \quad (2)$$



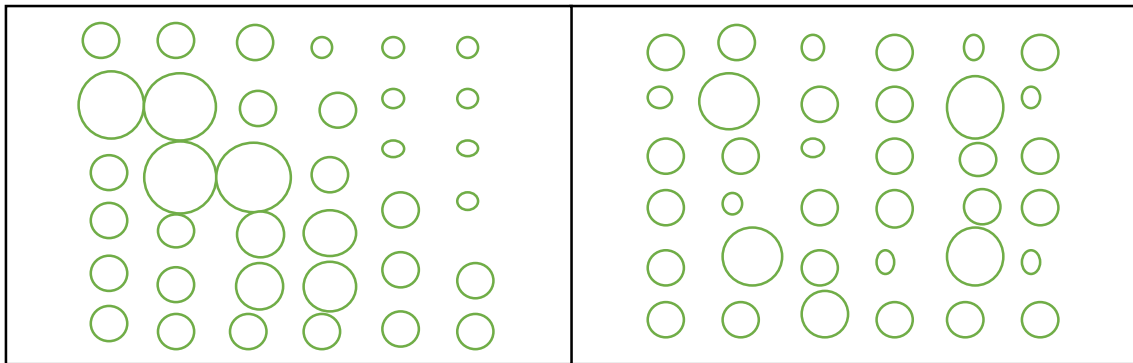
**Joonis 5.** Puuliikide segunemisindeks kahes näidispuistus. Vasakul joonisel on näha, et sama liiki puud asetsevad puistus grupiti ning sellest tulenevalt on liikide segunemisindeksi väärtus madal. Paremal on kujutatud heterogeenset puistut, kus erinevad puuliigid on ühtlaselt jaotunud ja segunemisindeksi väärtus on kõrge.

### 1.3.3 Diameetri diferentseerumisindeks

Diameetri diferentseerumisindeks DDF (Diameter differentiation index) näitab puude diameetrite ruumilist jaotust puistus, st kas eri jämedusega puud asetsevad puistus läbisegi või on sarnase diameetriga puud gruppidesse koondunud (joonis 6). Erinevalt eelnevalt kirjeldatud indeksitest põhineb DDF ainult vaatlusaluse puu ja tema lähima naabri tunnustel.

Indeksi väärtus suureneb kui keskmine puudevaheline kaugus suureneb (Pommerening 2002). Puistu tasemel diferentseerumisindeksi saab arvutada, kui liita üksikpuude indeksi väärtused ning jagada saadud summa puude arvuga. Diameetri diferentseerumisindeksi väärtused jagunevad nelja klassi. Vahemikus 0 kuni 0,3 on nõrk diferentseerumine ning vaadeldavate puude paari vähim diameeter moodustab 70% või enam suurimast diameetrist. Keskmine diferentseerumine jääb vahemikku 0,3 kuni 0,5, kus väiksema puu diameeter on 50...70% suurema puu diameetrist. Kui indeksi väärtus mahub vahemikku 0,5 kuni 0,7 on tugev diameetrite diferentseerumine. ja väiksema rinnasdiameetriga puu läbimõõt on 30...50% suurema puu diameetrist. Väga tugev diferentseerumine on indeksi väärtuste 0,7 kuni 1 korral, sellisel juhul on väiksema rinnasdiameetriga puu diameetri osakaal suurema puu diameetrist vähem kui 30%. Valemis 3 DBH<sub>i</sub> ja DBH<sub>j</sub> tähistavad vaadeldava puu i ja tema naaber j rinnasdiameetreid (3).

$$DDF_i = 1 - \frac{\min(DBH_i, DBH_j)}{\max(DBH_i, DBH_j)} \quad (3)$$

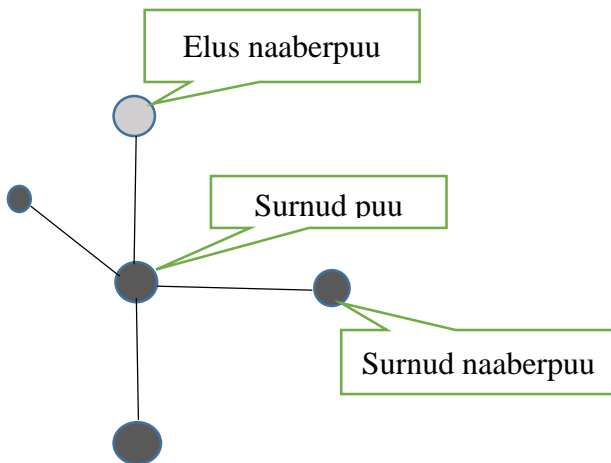


**Joonis 6.** Vasakpoolsel joonisel on kujutatud puistut, kus diameetri diferentseerumisindeksi väärtus on väike. Paremal on näha puistu, mille diferentseerumisindeksi väärtus on suur. Ringid tähistavad puid ning nende läbimõõdud kirjeldavad puude diameetreid

### 1.3.4 Surnud puude ruumilise paiknemise indeks

Surnud puude ruumilise paiknemise indeks DMI (Deadwood mingling index) annab ülevaate surnud puude ruumilisest asetusest puistus. Indeksi arvutusloogika lähtub liikide segunemise indeksist, kuid puuliigi asemel vaadatakse seda, kas puud on elus või surnud. Indeksi väärtus väljendab seda, kui suur osakaal vaatlusaluse surnud puu naabritest on samuti surnud. Puu tasemel arvutatud DMI saab omada 5 erinevat väärtust: 0, 0,25, 0,5, 0,75 ja 1. (Laarmann jt 2009). Kui surnud puu nelja lähima naabri seas on ainult üks surnud puu, siis indeksi väärtus on 0,25 (joonis 7) ning kui nelja lähima naabri seas on kolm surnud puud siis on indeksi väärtus 0,75. Analoogselt eelnevale on indeksi väärtus 0, kui surnud puu kõrval pole ühtegi surnud puud ja juhul kui kõik neli naaberpuud on surnud on väärtuseks 1. Indeksit ei saa arvutada, kui proovitükil ei ole ühtegi surnud puud (väärtus sellel alal puudub). Puistu tasemel indeksi väärtus saadakse üksikpuude indeksi väärtuste aritmeetilise keskmisena (valem 4).

$$DMi = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j = \begin{cases} 1 & \text{kui naaberpuu } j \text{ on surnud} \\ 0 & \text{kui naaberpuu } j \text{ on elus} \end{cases} \quad (4)$$



**Joonis 7.** Näide DMI väärtuse arvutamisest, antud joonisel on see 0,75

## 1.4 Andmete analüüs

Puistu struktuuri analüüsimisel võrreldi 239 proovitüki andmetel nelja erinevat struktuuriindeksit, igat ühte eraldi, majandusmetsade (KKPRT) ja vanade loodusmetsade (EMKAV) vahel, samuti kolme kasvukohatüübi (JK-jänesekapsa, JP-jänesekapsa-pohla, JM-jänesekapsa-mustika) vahel ning metsade looduslikkuse nelja erineva taseme (P-põlismets, L-looduslik mets, T-taastuv mets, M-majandatav mets) vahel. Andmete analüüsimisse võeti kõik proovitükil asuvad puud. Elusad puud indeksite UAI (puude paiknemisindeks), MNG (liikide segunemisindeks), DDF (diameetri diferentseerumisindeks) analüüsidesse ning surnud puud indeksi DMI (surnud puude ruumilise paiknemise indeks) analüüsi. Proovitüki servas olevate puude analüüsid kasutamiseks tuli genereerida servapuudele naaberpuud, kasutades selleks Lilleleht jt (2014) välja töötatud metoodikat. Kõigi nelja indeksi arvutamiseks kasutati nelja lähima naaberpuu meetodit, mis on soovitatud kasutamiseks Pommerening ja Stoyan (2006) poolt kui kõige otstarbekam naaberpuude hulk. Igal puule leiti neli lähimat naabrit, mille andmeid kasutades arvutati igale puule indeksid. Selleks kasutati Lilleleht jt (2014) välja töötatud skripti R keskkonna jaoks, millele lisati indeksi DMI kasutamiseks vajalikud käsured. Iga proovitüki puupõhiste indeksite põhjal arvutati proovitüki keskmine indeks. Edasiseks andmetöötluseks ja analüüsimiseks kasutati keskkondasid MS Excel ja R. Iga struktuuriindeksi erinevuse analüüsimiseks alade, kasvukohatüüpide ja looduslikkuse tasemete vahel kasutati dispersioonanalüüsi, et teada saada, kas indeksite keskmiste erinevus on põhjustatud uuritava faktori mõjust. Dispersioonanalüüs on sobiv meetod, kui funktsioontunnus (indeksid) on pidev, kuid argumenttunnused on diskreetsed (Kiviste 2007). Analüüsis uuriti funktsioontunnuse sõltuvust igast faktorist eraldi (ühefaktoriline dispersioonanalüüs). Kui ühefaktorilise (kui faktoril oli rohkem kui kaks taset) dispersioonanalüüsi käigus selgus, et uuritaval faktoril on mõju vaadeldavale indeksile, siis erinevuste vaatamiseks (millised tasemed üksteisest erinevad) kasutati TukeyHSD() funktsiooni, mis arvutab keskmised, nende usalduspiirid ja olulisuse tõenäosuse. Olulisuse nivooks oli 0,05.



## 2. TULEMUSED

### 2.1. Puude paiknemisindeks

Keskmine puude paiknemisindeks oli kõikidel proovitükkidel 0,52, minimaalne indeksiväärtus oli 0,43 ja maksimaalne 0,65. EMKAV proovitükkidel oli keskmiseks puude paiknemisindeksiks jänesekapsa kasvukohatüübis 0,55, jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis 0,54 ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,53. Looduslikkuse tasemete järgi oli puude paiknemisindeks EMKAV proovitükkidel põlismetsas 0,52, looduslikus metsas 0,54, taastuvas metsas 0,55 ja majandatavas metsas 0,53. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 3.

**Tabel 3.** Puude paiknemise indeks EMKAV proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

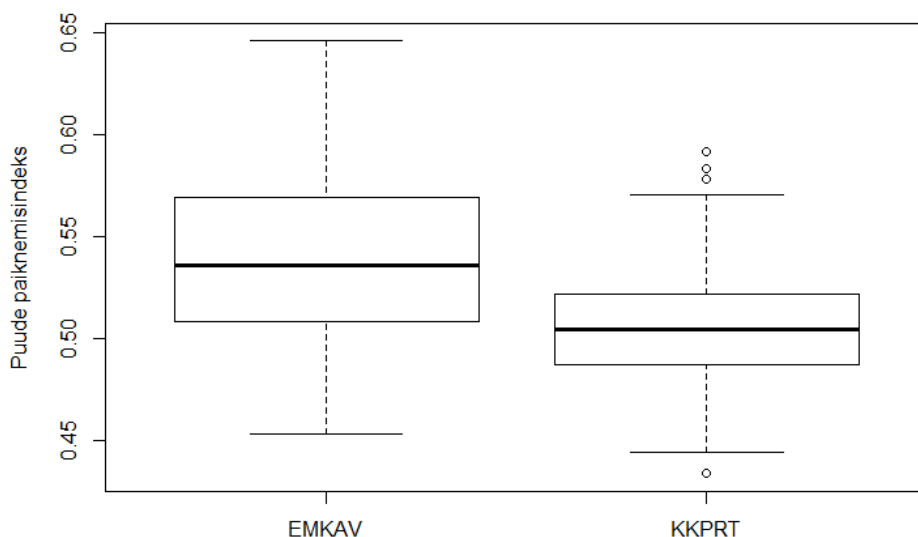
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Põlismets	0,53 (0,00)	0,52 (0,01)	0,52 (0,00)
Looduslik mets	0,53 (0,05)	0,56 (0,04)	0,53 (0,03)
Taastuv mets	0,55 (0,04)	0,55 (0,04)	0,53 (0,03)
Majandatav mets	0,56 (0,03)	0,52 (0,04)	0,53 (0,03)

KKPRT proovitükkidel oli keskmiseks puude paiknemise indeksiks jänesekapsa kasvukohatüübis 0,50, jänesekapsa-mustika ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,51. Looduslikkuse tasemete järgi oli puude paiknemise indeks KKPRT proovitükkidel looduslikus ja taastuvas metsas 0,50 ning majandatavas metsas 0,51. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 4.

**Tabel 4.** Puude paiknemise indeks KKPRT proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

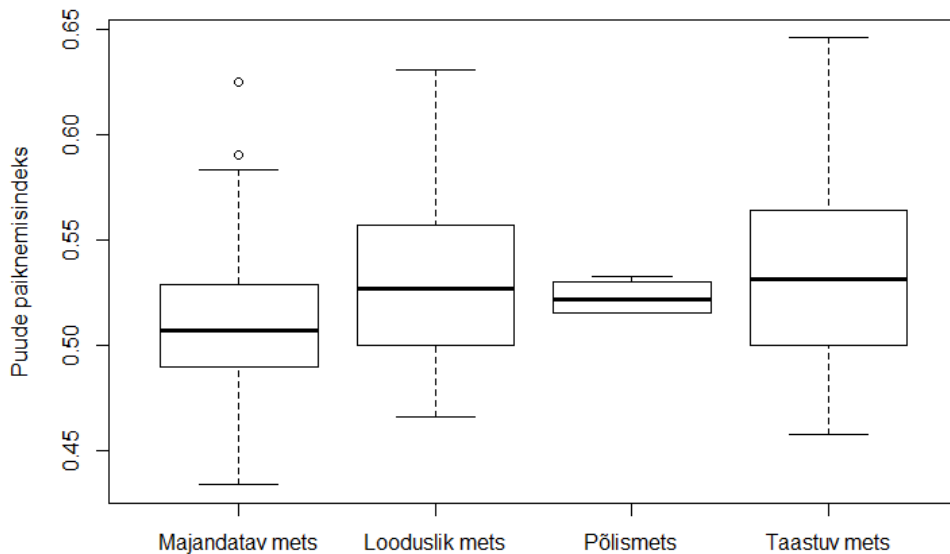
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Looduslik mets	0,50 (0,02)	0,51 (0,00)	0,49 (0,02)
Taastuv mets	0,52 (0,03)	0,49 (0,03)	0,50 (0,03)
Majandatav mets	0,51 (0,03)	0,50 (0,02)	0,51 (0,02)

Analüüsid puude paiknemisindeksit EMKAV ja KKPRT proovitükkide vahel selgus, et alad erinevad üksteisest ( $F=58,709$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 8). EMKAV proovitükkide keskmine puude paiknemisindeks on 0,54 ja KKPRT proovitükkidel on 0,51.



**Joonis 8.** Puude paiknemisindeks vanades loodusmetsades (EMKAV) ja majandusmetsades (KKPRT). Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil, vuntsid näitavad detsiile ning ringid on erindid

Analüüsid kõiki proovitükke koos, kasvukohatüüpide järgi, selgus, et puude paiknemise indeks erinevates kasvukohatüüpides on samasugune ( $F=1,033$ ,  $p=0,358$ ), kuid puude paiknemise indeks erineb looduslikkuse taseme järgi ( $F=6,86$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 9). Omavahel erinevad loodusliku ja majandatava metsa proovitükid ( $p=0,026$ ) ja taastuva ning majandatava metsa proovitükid ( $p<0,001$ ). Puude paiknemise indeks põlismetsa proovitükkidel ei eristu teistest proovitükkidest.



**Joonis 9.** Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi. Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil, vuntsid näitavad detsiile ning ringid on erindid

## 2.2. Liikide segunemisindeks

Keskmine puude liikide segunemisindeks oli kõikidel proovitükkidel 0,26, minimaalne indeksi väärtus oli null ja maksimaalne 0,78. EMKAV proovitükkidel oli keskmiseks liikide segunemisindeksiks jänesekapsa kasvukohatüübis 0,42, jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis 0,40 ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,33. Looduslikkuse tasemete järgi oli puude paiknemise indeks EMKAV proovitükkidel põlismetsas 0,44, looduslikus metsas 0,39, taastuvas metsas 0,40 ja majandatavas metsas 0,34. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 5.

**Tabel 5.** Liikide segunemisindeks EMKAV proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

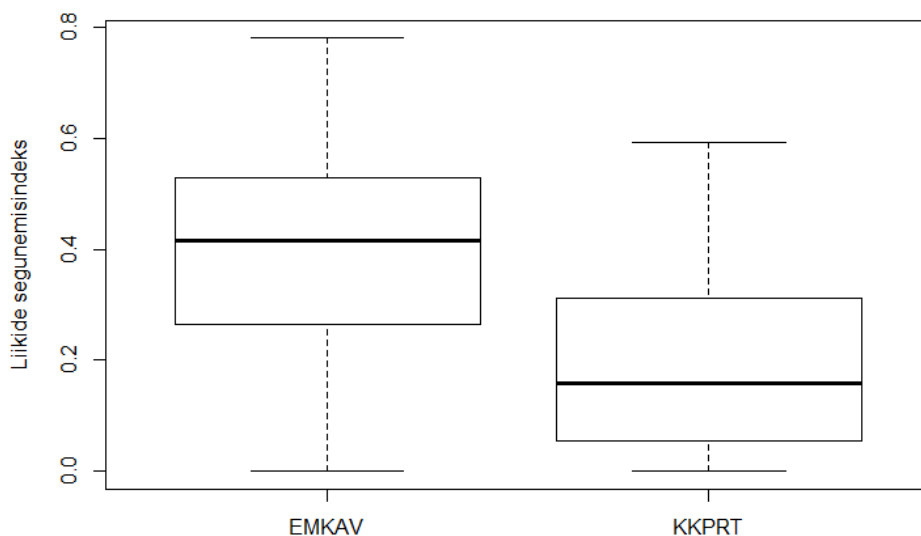
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Põlismets	0,53 (0,00)	0,30 (0,02)	0,51 (0,00)
Looduslik mets	0,51 (0,10)	0,39 (0,18)	0,28 (0,19)
Taastuv mets	0,45 (0,13)	0,38 (0,18)	0,37 (0,21)
Majandatav mets	0,30 (0,16)	0,45 (0,16)	0,27 (0,21)

KKPRT proovitükkidel oli keskmiseks liikide segunemisindeksiks jänesekapsa kasvukohatüübis 0,20, jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis 0,22 ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,16. Looduslikkuse tasemete järgi oli puude paiknemise indeks KKPRT proovitükkidel looduslikus metsas 0,18, taastavas metsas 0,24 ja majandatavas metsas 0,19. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 6.

**Tabel 6.** Liikide segunemisindeks KKPRT proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

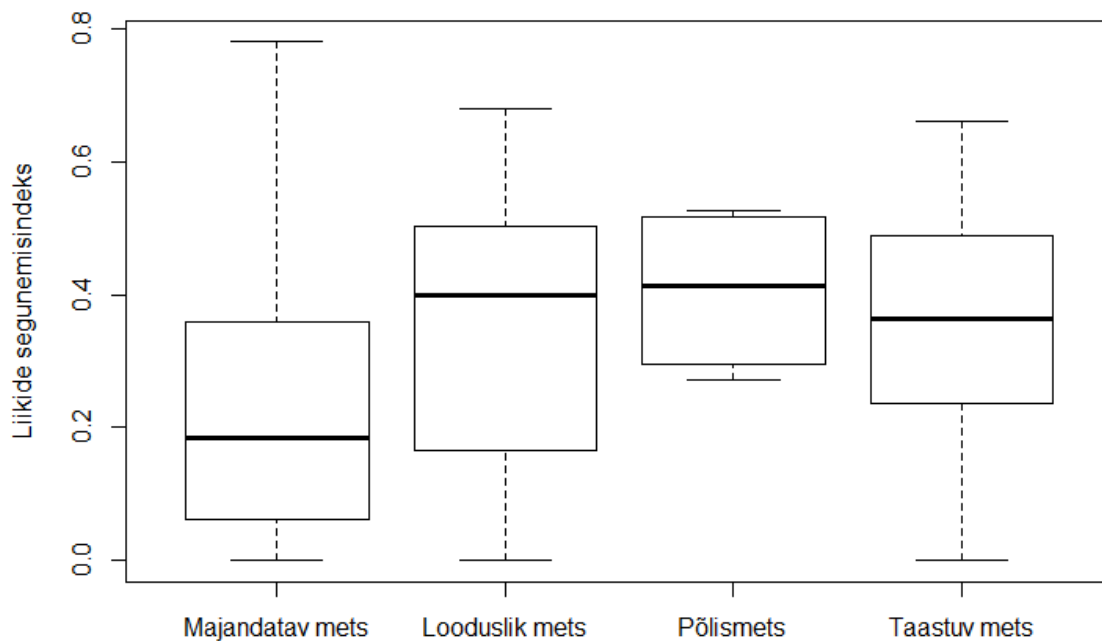
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Looduslik mets	0,38 (0,16)	0,04 (0,00)	0,14 (0,08)
Taastuv mets	0,24 (0,18)	0,30 (0,10)	0,18 (0,10)
Majandatav mets	0,18 (0,16)	0,22 (0,18)	0,16 (0,13)

Analüüsides liikide segunemisindeksit EMKAV ja KKPRT proovitükkide vahel selgus, et alad erinevad üksteisest ( $F=73,913$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 10). EMKAV proovitükkide keskmine segunemisindeks on 0,39 ja KKPRT proovitükkidel on 0,20.



**Joonis 10.** Liikide segunemisindeks vanades loodusmetsades (EMKAV) ja majandusmetsades (KKPRT). Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil ning vuntsid näitavad detsiile

Analüüsidest kõiki proovitükke koos, kasvukohatüüpide järgi, selgus, et liikide segunemisindeks erinevates kasvukohatüüpides erineb ainult jänsekapsa-pohla ja jänsekapsa-mustika vahel ( $F=5,688$ ,  $p=0,004$ ). Liikide segunemisindeks erineb looduslikkuse taseme järgi ( $F=9,80$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 11). Omavahel erinevad loodusliku ja majandatava metsa proovitükid ( $p=0,001$ ) ja taastuva ning majandatava metsa proovitükid ( $p<0,001$ ). Liikide segunemisindeks on majandatavate proovitükkide puhul teistest proovitükkidest kõige rohkem eristuv.



**Joonis 11.** Liikide segunemisindeks looduslikkuse tasemete järgi. Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil ning vuntsid näitavad detšiile

### 2.3. Diameetri diferentseerumisindeks

Keskmine diameetri diferentseerumisindeks oli kõikidel proovitükkidel 0,21, minimaalne indeksi väärtus oli 0,11 ja maksimaalne 0,49. EMKAV proovitükkidel oli keskmiseks diameetri diferentseerumisindeksiks kõikides uuritavates kasvukohatüüpides 0,20. Looduslikkuse tasemete järgi oli diameetri diferentseerumisindeks EMKAV proovitükkidel põlismetsas 0,19, looduslikus metsas ja taastuvas metsas 0,21 ning majandatavas metsas 0,20. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 7.

**Tabel 7.** Diameetri diferentseerumisindeks EMKAV proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

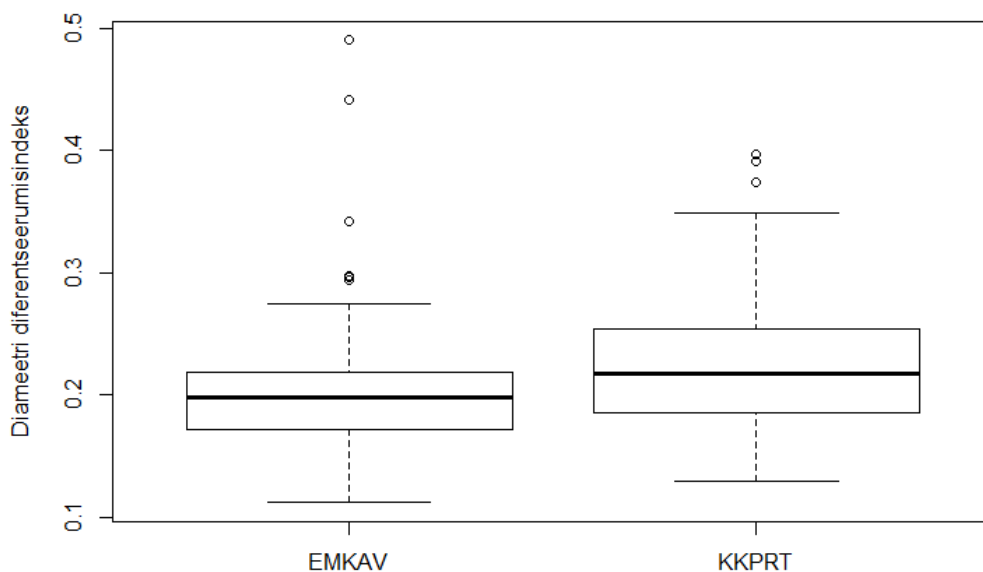
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Põlismets	0,19 (0,00)	0,20 (0,00)	0,17 (0,00)
Looduslik mets	0,20 (0,04)	0,23 (0,07)	0,21 (0,04)
Taastuv mets	0,25 (0,10)	0,19 (0,04)	0,20 (0,03)
Majandatav mets	0,21 (0,04)	0,19 (0,02)	0,19 (0,01)

KKPRT proovitükkidel oli keskmiseks diameetri diferentseerumisindeksiks 0,23, jänesekapsa kasvukohatüübis 0,24, jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis 0,22 ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,20. Looduslikkuse tasemete järgi oli diameetri diferentseerumisindeks KKPRT proovitükkidel looduslikus metsas 0,22, taastuvas metsas 0,23 ja majandatavas metsas 0,22. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 8.

**Tabel 8.** Diameetri diferentseerumisindeks KKPRT proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Looduslik mets	0,23 (0,06)	0,23 (0,00)	0,22 (0,02)
Taastuv mets	0,22 (0,06)	0,25 (0,07)	0,21 (0,01)
Majandatav mets	0,25 (0,06)	0,22 (0,04)	0,20 (0,03)

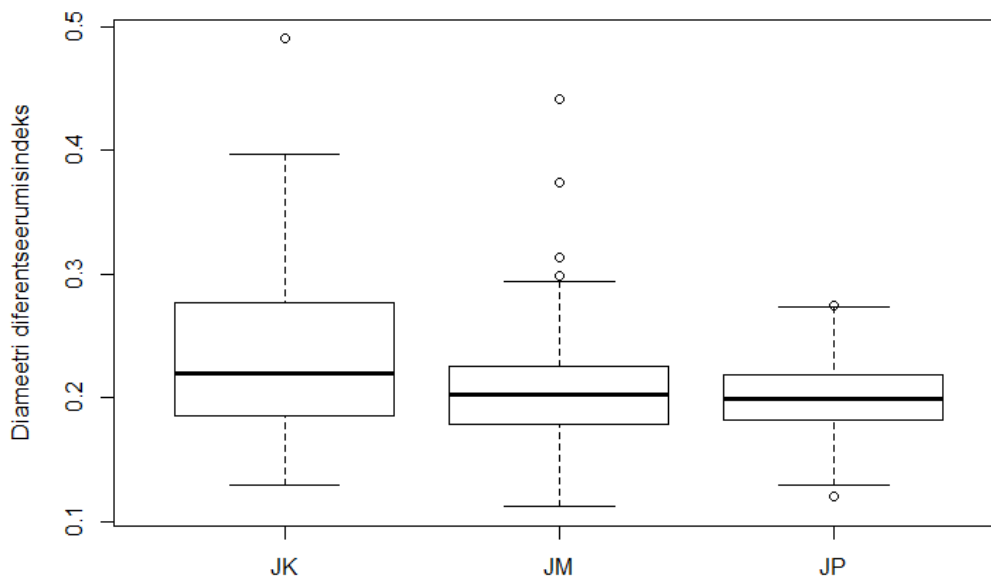
Analüüsides diameetri diferentseerumisindeksit EMKAV ja KKPRT proovitükkide vahel selgus, et alad erinevad üksteisest ( $F=8,948$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 12). EMKAV proovitükkide keskmine diferentseerumisindeks on 0,20 ja KKPRT proovitükkidel on 0,23.



**Joonis 12.** Diameetri diferentseerumisindeks vanades loodusmetsades (EMKAV) ja majandusmetsades (KKPRT). Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil ning vuntsid näitavad detsiile, ringid on erindid

Analüüsidest kõiki proovitükke koos kasvukohatüüpide järgi, selgus et diameetri diferentseerumisindeks jänesekapsa kasvukohatüübis eristub jänesekapsa-pohla ja jänesekapsa-mustika kasvukohatüübist ( $F=10,762$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 13). Diameetri diferentseerumisindeks ei erine looduslikkuse taseme järgi ( $p=0,577$ ).





**Joonis 13.** Diameetri diferentseerumisindeks kasvukohatüüpide järgi. Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil ning vuntsid näitavad detsiile, ringid on erindid

## 2.4. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks

Keskmine surnud puude ruumilise paiknemise indeks oli kõikidel proovitükkidel 0,21, minimaalne indeksi väärtus oli null ja maksimaalne 0,75. EMKAV proovitükkidel oli keskmiseks surnud puude indeksiks jänesekapsa kasvukohatüübis 0,3, jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis 0,31 ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,39. Looduslikkuse tasemete järgi oli puude paiknemise indeks EMKAV proovitükkidel põlismetsas 0,17, looduslikus metsas 0,41, taastuvas metsas 0,35 ja majandatavas metsas 0,27. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 9.

**Tabel 9.** Surnud puude ruumilise paiknemise indeks EMKAV proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

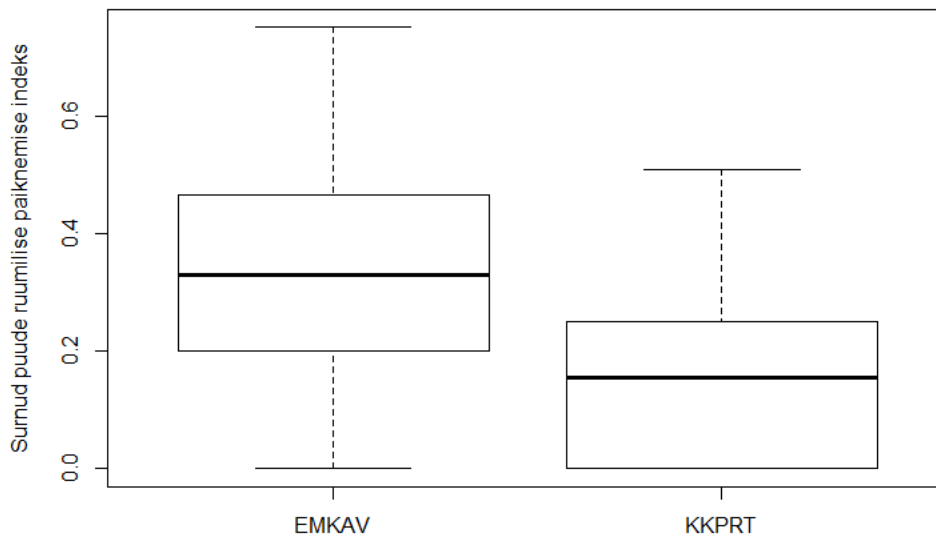
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Looduslik mets	0,34 (0,00)	0,35 (0,06)	0,54 (0,00)
Taastuv mets	0,34 (0,17)	0,35 (0,19)	0,35 (0,09)
Majandatav mets	0,23 (0,11)	0,26 (0,19)	0,31 (0,11)
Põlismets	0,23 (0,23)	0,06 (0,17)	0,20 (0,12)

KKPRT proovitükkidel oli keskmiseks surnud puude indeksiks jänesekapsa kasvukohatüübis 0,17, jänesekapsa-mustika kasvukohatüübis 0,14 ja jänesekapsa-pohla kasvukohatüübis 0,15. Looduslikkuse tasemete järgi oli puude paiknemise indeks KKPRT proovitükkidel looduslikus metsas 0,19, taastuvas metsas 0,20 ja majandatavas metsas 0,14. Puude paiknemise indeks looduslikkuse tasemete järgi erinevates kasvukohatüüpides on esitatud tabelis 10.

**Tabel 10.** Surnud puude ruumilise paiknemise indeks KKPRT proovitükkidel looduslikkuse tasemete ning kasvukohatüüpide kaupa. Esitatud on aritmeetiline keskmine ning sulgudes on standardhälve

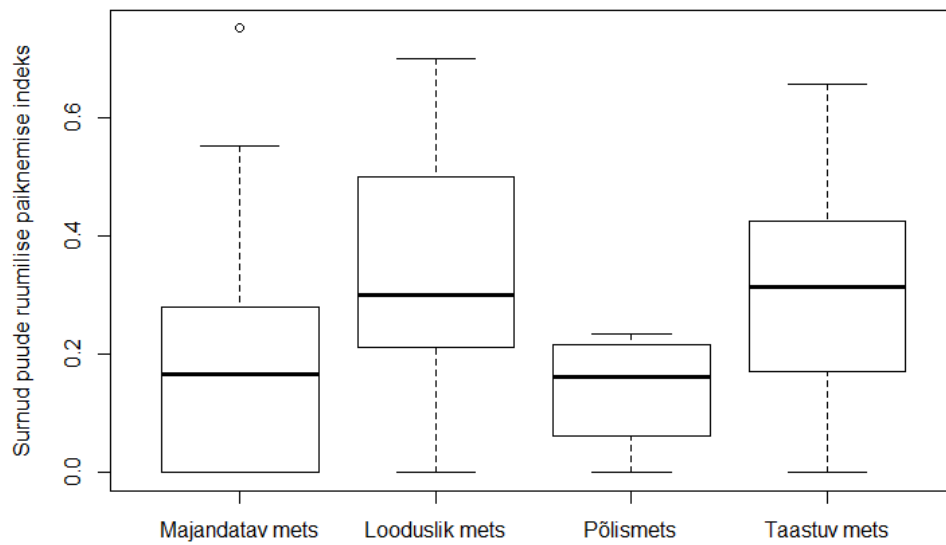
	Jänesekapsa	Jänesekapsa-mustika	Jänesekapsa-pohla
Looduslik mets	0,18 (0,10)	0,27 (0,00)	0,11 (0,08)
Taastuv mets	0,22 (0,09)	0,21 (0,14)	0,17 (0,05)
Majandatav mets	0,16 (0,14)	0,12 (0,13)	0,15 (0,15)

Analüüsides surnud puude ruumilise paiknemise indeksit EMKAV ja KKPRT proovitükkide vahel selgus, et alad erinevad üksteisest ( $F=65,417$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 14). EMKAV proovitükkide keskmine surnud puude indeks on 0,33 ja KKPRT proovitükkidel on 0,16.



**Joonis 14.** Surnud puude indeks vanades loodusmetsades (EMKAV) ja majandusmetsades (KKPRT). Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil ning vuntsid näitavad detšiile

Analüüsides kõiki proovitükke koos, kasvukohatüüpide järgi, selgus, et surnud puude indeks erinevates kasvukohatüüpides ei erine ( $F=0,950$ ,  $p=0,388$ ). Surnud puude indeks erineb looduslikkuse taseme järgi ( $F=13,449$ ,  $p<0,001$ ) (joonis 15). Omavahel erinevad loodusliku ja majandatava metsa proovitükid ( $p=0,001$ ) ja taastuva ning majandatava metsa proovitükid ( $p<0,001$ ).



**Joonis 15.** Surnud puude ruumilise paiknemise indeks looduslikkuse taseme järgi. Keskmine joon on mediaan, kasti piirid on vastavalt alumine ja ülemine kvartiil ning vuntsid näitavad detšiile

### 3. ARUTELU

Antud töö tulemustes tuli välja mitmeid erinevusi ja sarnasusi vanade loodusmetsade ja majandusmetsade vahel, võrreldes puistute struktuuriindekseid looduslikkuse taseme ning kasvukohatüüpide põhjal. Klassikaline metsade kasutamine viib paratamatult nii metsade tüpoloogilise kui ka liigilise koosseisu vaesumisele (Korjus 2002). Vanade loodusmetsade kaitse kavandamisel on oluline kindel olla, mida soovitakse saavutada, kas olemasoleva seisundi säilitamist, varasema olukorra taastamist või hoopiski lasta loodusel kulgeda oma rada, ilma vahele sekkumata.

Kuna erinevat tüüpi metsadel on erinevad ülesanded isesuguse kaaluga, siis töö tulemustest oli oodata vastavaid eripärasusi. Majandusmetsa peamiseks ülesandeks on ikkagi kvaliteetse puidu tootmine ja raie tegemine metsa küpsusvanuse saavutamisel. Loodusmetsade puhul on oodata eriliigilist ja erivanuselist puistut, kus I rinde puud peaksid ületama vanuseliselt 80 aastat (Viilma ja Palo 2009). Vanuseline erinevus tuli välja ka algandmetest, kus majandusmetsade keskmiseks vanuseks oli 64 aastat ja looduslike metsade keskmiseks vanuseks 114 aastat.

Tehes struktuurianalüüsi looduslike ja majandusmetsade vahel selgusid peamised struktuuri erinevused. Suuremad erinevused esinesid liikide segunemises ja surnud puude osakaalus, antud omapärasusi oli ka metsatüüpide vahel oodata. Väiksemad erinevused esinesid ka diameetri diferentseerumise ja puude paiknemise vahel, mille puhul oli oodata suuremaid eripärasusi.

Puuliikide segunemine näitas, et majandavate metsade aladel toimus keskmiselt nõrk ( $MNG=0,20$ ) või mitmel juhul ka väga nõrk liigiline segunemine, aga loodusmetsades toimus ligilähedaselt mõõdukas segunemine ( $MNG=0,39$ ). Tulemustest oli oodata, et liikide segunemine on suurem looduslikes metsades ja väiksem majandusmetsades, sest vanade loodusmetsade üheks kriteeriumiks on ka puistu eriliigilisus. See näitab et looduslikes metsades on liigilise mitmekesisuse esinemine tõenäolisem kui majandusmetsades. Kuid majandusmetsades on tavaline peapuuliigi rohkemalt esinemine, kuna soovitakse saada kindla puuliigi kvaliteetset materjali, mille saavutamiseks tehakse puistus ka mitmeid hooldusraieid (Uri 2017).

Surnud puid on looduslikes metsades rohkem kui majandusmetsades, kuna loodusmetsades ei sekku inimene sealsetesse protsessidesse, ning loodusmetsade eelduseks on, et surnud puud ja lamapuit moodustavad rohkem kui 5% kasvavate puude arvust. Majandusmetsades

hooldustööde käigus eemaldatakse metsast suurem osa surnud puudest ning neil aladel ei esine kõdunenud lamapuitu. KKPRT aladel oli keskmiselt vähem surnud puid (0,16) kui EMKAV aladel (0,33). Suured erinevused surnud puude paiknemisel olid oodatud, sest majandusmetsades eemaldatakse tihti surnud ja haiged puud sanitaarraiega, mille tõttu jääb metsa ka vähem surnuid puid. Looduslikes metsades on sammaldunud või muu alustaimestikuga kaetud lamapuu esinemine üheks kriteeriumiks (Viilma ja Palo 2009), mis tähendab et sealseid surnuid puid ei veeta metsast ära ning need jäävad oma kukkumisasemele.

Puude paiknemine oli EMKAV aladel ebakorrapärasem ( $UAI=0,54$ ), kui KKPRT aladel ( $UAI=0,51$ ), kuid mõlemal alal on paiknemine pigem juhuslik. Loodusmetsade puhul oli oodata suuremat ebakorrapärasust, sest sel juhul on suurem eeldus häilude tekkeks puistus. Metsade majandamisel on raske teostada loodusmetsadele iseloomulikku heterogeensust, seal hulgas ka väikeste häilude säilitamist (Kohm ja Franklin 1997). Uurimuse tulemustest selgub aga, et vanade loodus- ja majandusmetsade puude paiknemise erinevus on üsna väike, mistõttu ehk polegi vaja püüda majandusmetsades häile juurde tekitada.

Majandusmetsades on suurem diameetrite diferentseerumise erinevus, see tähendab et majandusmetsades asetsevad puud veidi hajusamalt ( $DDF=0,23$ ), kui loodusmetsades (0,20), aga siiski pigem grupiti. Tulemustest oli oodata, et majandusmetsade diameetrite diferentseerumine ongi nõrk, sest puistud on ühevanuselised ja eeldus väiksemateks diameetri erinevusteks on olemas. EMKAV aladel toimus samuti nõrk diferentseerumine. Selgus et mõlema ala puhul on sarnase diameetriga puud siiski üsnagi grupiti koos, kuna diameetri diferentseerumine on mõjutatud ka vaatlusaluse puu ja tema lähima naabri omavahelisest kaugusest. Kuna majandusmetsades esines puid arvuliselt ligi kahe ja poole võrra rohkem, mõjutas samuti saadud tulemusi.

Struktuuriindekseid, kui puistupõhiseid keskmisi väärtuseid on võimalik kasutada ka puistute looduslikkuse taseme hindamisel. Töö tulemuste põhjal üldistatult võib öelda, et vanades loodusmetsades toimub mõõdukas puuliikide segunemine, mis on tunduvalt suurem kui majandusmetsades. Puude paiknemine on loodusmetsas juhuslik, aga lähemal ebakorrapärasemale kui majandusmetsades. Puude diameetrite ruumiline jaotus loodusmetsades on läbisegi ja gruppidesse koondumist esineb vähe. Surnud puid paikneb loodusmetsade aladel tihedamalt kui majandusmetsades. Tulemused peegeldavad samuti arusaama, et majandusmetsades on liigiline mitmekesisus väiksem, ning keskkond on

inimtegevusest mõjutatud, aga majandusmetsa ülesandeks ongi kvaliteetse puidu kasvatamine, mis eeldab inimese poolset sekkumist metsa majandamisesse.

Majandusmetsades toimub liigirikkuse vähenemine, kuna metsade struktuuris ja kasvukohatüübile omases puurindes toimub liigilise koosseisu vaesumine (Timm 2011). Selleks, et säilitada metsas ka peale raiet bioloogilist mitmekesisust tuleks metsauuendamisel rajada mitmeliigilisi kultuure või jätta raielangile säilikpuude rühm, mis toimib hiljem ka noorendikus elurikkuse allikana (Timm 2011). Samas kui majandusmetsade eesmärgiks ongi toota võimalikult kiiresti kvaliteetset puitu, siis ei ole mõistlik jätta raieküpsset metsa seisma, ei ole kahtlust, et peavad säilima ka vanad looduslikud metsad, aga selleks ongi loodud kaitsealused metsad, kus inimene ei toimeta (Uri 2017).

## KOKKUVÕTE

Vanade loodusmetsade ja majandusmetsade struktuur erineb peamiselt inimtegevuse ulatusest metsast, aga sõltub ka teistest asjaoludest. Loodusmetsade puistud on eriliigilised ja erivanuselised, raiejälgi ei ole näha, surnult seisvaid ja lamapuid on rohkem kui 5% kasvavate puude arvust ning puistus esineb häile.

Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükid ja Natura 2000 elupaigatüüpi (9010\*) kuuluvate vanade loodusmetsade 239 proovitükil põhinevatel andmetel teostatud analüüs struktuuriindeksite baasil oli edukas. Töö eesmärgiks oli välja selgitada suuremad erinevused ja sarnasused looduslikkuse tasemete ja kasvukohatüüpide ruumiliste struktuuriindeksite analüüsi käigus.

Peamised erinevused KKPRT ja EMKAV aladel ilmneseid liikide segunemises ja surnud puude osakaalus. Väiksemad erinevused tulid esile ka diameetri diferentseerumise ja puude paiknemise vahel.

Töös kasutatud neli struktuuriindeksit sai valitud selle alusel, et nendega saaks kirjeldada ka metsade struktuuri üldiselt. Uurimuse tulemustena selgus, et uuritavate ruumiliste struktuuriindeksite vahel esineb mitmeid erinevusi ja sarnasusi looduslike metsade ja majandusmetsade vahel. Tuleb arvestada, et vanadel loodusmetsadel ja majandusmetsadel on erinev ülesanne, mille tõttu tõusevad alade vahel esile ka erinevused. Säilitades majandusmetsades mitmekesisust, võib kannatada puidu kvaliteet, kuigi samas rajades monokultuuri tõstetakse kahjurite ilmnemise ohtu. Vanad loodusmetsad on mõõduka puuliikide segunemisega, puud paiknevad juhuslikult, diameetrite ruumiline jaotus on läbisegi, gruppidesse koondumist esineb vähe ning surnuid puid paikneb loodusmetsade aladel tihedamalt kui majandusmetsades.

Käesolev töö näitab erinevusi vanade loodusmetsade ja majandusmetsade vahel, mis on koostatud kasutades puistupõhist nelja ruumilist struktuuriindeksit. Töös arutletud loodusmetsade ja majandusmetsade struktuuriomaduste erinevused, ilmneseid ka tulemuste analüüsis.



## **An analysis of spatial forest structure on different level of naturalness**

### **Summary**

The main difference between the structure of managed forests and natural forests comes from human actions, however there is also other things to consider. Natural forests have to compose of different species and age groups, woodcutting cannot be seen on the area, standing deadwood and fallen deadwood have to constitute more than 5% of growing trees and trees must also grow as groups.

The spatial analysis of the structure-based indices composed of 239 plots belonging to KKPRT and the Natura 2000 habitat types (9010\*) was successful. Purpose of the work was to identify similarities and differences in the levels of naturalness and habitat types using the spatial structure indices analysis.

The indices were chosen to describe the structure of the forests in general. The research results showed that there are a number of similarities and differences between natural forests and managing forests. It has to be taken to account that because of different purposes of the forests, there will be differences in natural forests and managing forests. Maintaining biodiversity in managing forests can have a bad impact on the quality of the wood, however planting monoculture will rise the danger of pests. Old natural forests are with moderate mingling, trees locations are random, the spatial distribution of diameter differentiation shows a low clumping, clumping in groups does not appear and there are more deadwood in natural forests than in managing forests.

Research shows differences between managing and natural forests, which are composed based of 4 spatial structural indices. The differences took notice in results and in the analysis of the results.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K., Jimenez, J.** (2003). An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables.- *Forest Ecology and Management*. Nr 183, lk 137-145.
- EMÜ, Metsakorralduse osakond.** (2008). Puistu loodusväärtuste hindamise metoodiline juhend. Eesti Maaülikool. 4 lk.
- Földner, K.** (1995). Mixed stands structure description. (Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen).- *Forstarchiv*. Nr 66, lk 235-240.
- Von Gadow, K., Hui, G.,** (2001). Characterizing forest spatial structure and diversity. *Sustainable Forestry in Temperate regions*. Rootsi. Lk 20-30.
- Hui, G.Y., von Gadow, K.** (2002). The optimaal standard angle of the uniform angle index.- *Zeitschrift für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft*. Nr 173, lk 173-177.
- Kiviste, A.** (2007). Matemaatiline statistika MS Exceli keskkonnas. Tartu. 86 lk
- Kohm, K., Franklin, F.** (1997) Creating the Forestry for 21st Century. The Science of Ecosystem Managment. Nr 2331, lk 1-5.
- Korjus, H.** (2002). Puistu loodusväärtuste inventeerimine.- *Metsanduslikud Uurimused*. Nr 37, lk 59-71.
- Korjus, H., Paluots, T., Laarmann, D.** (2016). Eesti metsakaitsealade võrgustiku analüüs ja seire korraldamine vanade loodusemetsade (9010\*) elupaigatüübis metsade seisundi ja dünaamika jälgimiseks. SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse ja Eesti Maaülikooli vahel 3. märtsil 2015.a. sõlmitud lepingu nr. 3-2\_7/1974-5/2014 lõpparuanne. Eesti Maaülikool. Tartu.
- Krigul, T.** (1971). Järvelja ürgmetsakvartal.- *Eesti Loodus*. Nr 4, lk 200-203.
- Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Stanturf, J.A., Kiviste, A., Köster, K.** (2009). Analysis of forest naturalness and tree mortality patterns in Estonia.- *Forest Ecology and Management*. Nr 258S, lk S187-S195.
- Lilleleht, A., Sims, A., Pommerening, A.** (2014). Spatial forest structure reconstruction as a strategy for mitigating edge-bias in circular monitoring plots.- *Forest Ecology and Management*. Nr 316, lk 47-53.

- Maleki, K., Kiviste, A.** (2009). Proovitüki suuruse ja kuju mõju metsa struktuuriindeksite hiinagutele arukase (*Betula pendula* Roth) enamusega puistus Järveljal.- *Metsanduslikud Uurimused*. Nr 63, lk 130-150.
- Paal, J.** (1999). Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon. Tartu, lk 43-46.
- Paal, J.** (2004). Euroopas väärtustatud elupaigad Eestis. Tallinn. 111 lk.
- Palo, A., Tee, M., Linder, M.** (2007). Loodusdirektiivi metsaelupaikade järjepidevus Ida-Virumaal topograafiliste kaartide põhjal.- *Metsanduslikud Uurimused*. Nr 47, lk 29-46.
- Pommerening, A.** (2002). Approaches to quantifying forest structures. – *Forestry*. Nr 75, lk 305-324.
- Pommerening, A., Stoyan, D.** (2006). Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure.-*Canadian Journal of Forest Research*. Nr 36, lk 1723-1739.
- Uri, V.** (2017) Veel metsadest ja metsandusest. <http://www.sirp.ee/s1-artiklid/c21-teadus/veel-metsadest-ja-metsandusest/> (25.04.2017)
- Timm, U.** (2011) Enamik ohustatud liike on seotud metsaga.- *Eesti Mets*. Nr 1. Lk 16-22
- Viilma, K., Palo, A.** (2009) Kaitsealade metsade inventeerimise ja kaitses korraldamise juhend. [www.metsakorraldus.ee] (22.04.2017)
- Viilma, K., Öövel, J., Tamm, U., Tomson, P., Amos, T., Ostonen, I., Sorensen, P. Kuuba, R.** (2001). Eesti metsakaitsealade võrgustik. Projekti „Eesti metsakaitsealade võrgustik“ lõpparuanne. Triip Grupp. Tartu.

**LISAD**

## Lisa 1. Loodusväärtuste hindamise blankett

Prtk nr.	
Inventeerija	
Kuupäev	

### Metsaandmed

Pinnavorm	
Maastik	
LK hinnang	Põlismets   Looduslik mets   Taastuv mets   Majandatav mets
Väärispaik	VEP   Potentsiaalne VEP   Ei ole VEP

### Loodusväärtuse hindamine

Omadused	1	2	3
Puistu struktuur	2 rinnet	2<	Pole kujun.
Bioloogiliselt vanad puud	üksikud	mõned	rohkem
Bioloogiliselt vanade puude liigid	Okasp	Lehtp	Mõlem.
Päikesele avatud vanad/surnud puud $\phi > 15$ cm	üksikud	mõned	rohkem
Puud suurte pesaõõnsuste/avadega	üksikud	mõned	rohkem
Laialehelised puuliigid/haab $\phi > 20$ cm	üksikud	mõned	rohkem
Selsvad surnud puud $\phi$ 10-25 cm	üksikud	mõned	rohkem
Selsvad surnud puud $\phi > 25$ cm	üksikud	mõned	rohkem
Selsvate surnud puude liigid	Okasp	Lehtp	Mõlem.
Lamapuud $\phi$ 25-40 cm	üksikud	mõned	rohkem
Lamapuud $\phi > 40$ cm	üksikud	mõned	rohkem
Lamapuude liigid	Okasp	Lehtp	Mõlem.
Lamapuidu pehkimisastmed	1-2	3-4	kõigis
Koorega kaetud mahalangenud puud $\phi > 25$ cm	üksikud	mõned	rohkem
Kooreta mahalangenud puud $\phi > 25$ cm	üksikud	mõned	rohkem

### Kultuurilis-bioloogilised väärtused

Omadused	1	2	3
Vegetatiivsed/mitmetüvelised puud	üksikud	mõned	rohkem
Lagedal kasvanud laiavõralised puud	üksikud	mõned	rohkem

### Inimmõjutused

Omadused	1	2	3
Prügi/praht	Vähene	Mööd.	tugev
Pinnasekahjustus	Vähene	Mööd.	tugev
Küllastatavus	Vähene	Mööd.	tugev
Kuivendus	Mittetööt.	Osalt tööt.	töötav
Intensiivselt kasutatav tee/raudtee	>1 km	1000-50m	piirnev

Märkused:

Omadused	1	2	3
Hästiarenenud tugijuurid	üksikud	mõned	rohkem
Tüükad $\phi > 15$ cm	üksikud	mõned	rohkem
Päikesele avatud lamapuud	üksikud	mõned	rohkem
Tormiheide	üksikud	mõned	rohkem
Rippuvad samblikud	5-20%	20-50%	Üle 50%
Lehtsamblikud	5-20%	20-50%	Üle 50%
Sammaldunud puud	5-20%	20-50%	Üle 50%
Seened püsilvjaketadega	üksikud	mõned	rohkem
Metsatulekahju jäljed	Üle 15a	6-15a	Vähem kui 5a
Lagendikud, välud			
Kopra toitumisjäljed			
Kuivendamata niiske ala			
Sulglohud >0,1 ha			
Allikas, oja, tiik			
Erivanuselisis 1 rindes >20 a			
<b>Summa 1:</b>			

Omadused	1	2	3
Vanad sarapuupõõsad	üksikud	mõned	rohkem
Inimtegevuse jäljed			
<b>Summa 2:</b>			

Omadused	1	2	3
Raled	Vähene	Mööd.	tugev
Lagerale lähedus (>0,5 ha, <25a)	100-50 m	< 50 m	piirnev
Elektri- ja telefoniliinid			
Muud negatiivsed mõjurid			
<b>Summa 3:</b>			
<b>KOGUSUMMA (1+2+3)</b>			

## **Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Lauri Lahtvee,

sünniaeg 25.07.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Struktuurianalüüs erineva looduslikkuse tasemega puistutes,

mille juhendajad on Diana Laarmann ja Ando Lilleleht,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiiviDSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(kuupäev)

---

## **Juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

